




Process for regulating gas pressures of catalyst regenerator expansion turbines

Patent Number:  US5960624
Publication date: 1999-10-05
Inventor(s): BLOTENBERG WILFRIED (DE)
Applicant(s): GHH BORSIG TURBOMASCHINEN GMBH (DE)
Requested Patent:  EP0810358, A3, B1
Application Number: US19970881809 19970530
Priority Number(s): DE19961021824 19960531
IPC Classification: F02C9/16
EC Classification: F02C9/18
Equivalents:  DE19621824

Abstract

A process for regulating gas pressures of a regenerator with a gas expansion turbine in a flue gas line with a generator, wherein a process regulator opens the inlet valves of a gas expansion turbine and/or the bypass valves or throttles the bypass valves, doing so once with operation and once without operation of the gas expansion turbine. The process regulator is followed by a plurality of function generators, which preset the correcting variables for the downstream valves and in which a first function course of the function generators for operation of the gas expansion turbine and a second function course of the function generators for operation without gas expansion turbine are stored. A quick-acting valve of the inlet valves is acted upon by the speed regulator and it is active only at the time of the start-up of the gas expansion turbine until synchronization of the generator.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 810 358 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
03.12.1997 Patentblatt 1997/49

(51) Int. Cl.⁶: F02C 9/18

(21) Anmeldenummer: 97107764.9

(22) Anmeldetag: 13.05.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:
CH DE GB IT LI NL

(30) Priorität: 31.05.1996 DE 19621824

(71) Anmelder:
GHH BORSIG Turbomaschinen GmbH
46145 Oberhausen (DE)

(72) Erfinder:
Blotenberg, Wilfried, Dr.-Ing.
46535 Dinslaken (DE)

Poststelle S			
Eingang			
05. Dez. 1997			
MRF			

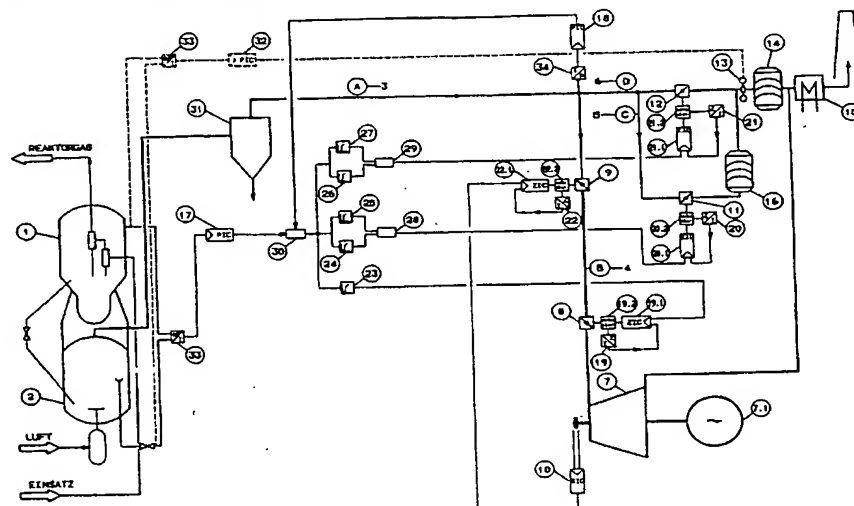
(54) Verfahren zum Regeln von Gasdrücken bei Einsatz von Gasentspannungsturbinen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln von Gasdrücken eines Regenerators (2) mit einer Gasentspannungsturbine (7) in der Rauchgasleitung (4) mit einem Generator (7.1), wobei ein Prozeßregler (17) die Eintrittsarmaturen (8, 9) einer Gasentspannungsturbine (7) und/oder die Bypassarmaturen (11, 12) öffnet oder die Bypassarmaturen (11, 12) drosselt, und zwar einmal mit Betrieb und einmal ohne Betrieb der Gasexpansionsturbine (7).

Dem Prozeßregler (17) sind mehrere Funktionsgeber (23), (24, 25, 28), (26, 27, 29) nachgeschaltet, die

die Stellgrößen für die nachgeschalteten Armaturen (8, 11, 12) vorgeben und in denen jeweils ein erster Funktionsverlauf der Funktionsgeber (23, 24, 26) bei Betrieb und ein zweiter Funktionsverlauf der Funktionsgeber (25, 27) für einen Betrieb ohne Gasentspannungsturbine (7) gespeichert sind.

Die Schnellschlußarmatur (9) wird vom Drehzahlregler (10) beaufschlagt und ist nur beim Anfahren der Gasexpansionsturbine (7) bis zum Synchronisieren des Generators (7.1) wirksam.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln von Gasdrücken eines im Verbund mit einem Reaktor arbeitenden Regenerators, bei Einsatz von mindestens einer Gasentspannungsturbine in der Abgasleitung mit einem Generator oder einer sonstigen Last, wobei ein Prozeßgasdruckregler die Eintrittsarmaturen einer Gasentspannungsturbine und/oder die Bypassarmaturen öffnet oder die Armaturen drosselt.

Die Energierückgewinnung aus Abgasen in der chemischen oder der petrochemischen Industrie erfreut sich zunehmender Beliebtheit. In Prozessen wie FCC (Fluid Catalytic Cracking), PTA (Terephthalsäureherstellung), bei der Salpetersäureherstellung und anderen Verfahren treten Prozeßgase aus einem chemischen Prozeß aus, deren Energiegehalt ausreicht, um zwischen 30 % und 100 % der Kompressionsarbeit (Antriebsleistung für die erforderlichen Kompressoren) für das chemische Verfahren aufzubringen.

Zur Rückgewinnung dieser Energie werden in der Regel Gasexpansionsturbinen bzw. Expander verwendet.

Diese Gasexpansionsturbinen werden vom Abgas durchströmt, bevor dieses in die Atmosphäre austritt. Häufig sind die Gasexpansionsturbinen zusammen mit Kompressoren für die Verdichtung der Prozeßgase auf einer einzigen Maschinenwelle angeordnet, so daß sie den Kompressor direkt antreiben können.

In anderen Anwendungsfällen, insbesondere dann, wenn eine bestehende Anlage um eine Energierückgewinnungseinrichtung erweitert werden soll, kommen auch Gasentspannungsturbinen zum Einsatz, die nur einen elektrischen Generator antreiben.

Typische Leistungsklassen für derartige Gasexpansionsturbinen sind 6 - 20 MW, diese Anlagen werden jedoch auch für Leistungen bis 60 MW und darüber gebaut.

Um den Prozeßdruck auch bei variablen Abgasmenen konstant zu halten, befinden sich Regelarmaturen am Eintritt der Gasentspannungsturbine. Bei kleiner werdenden Abgasmenen drosseln diese Regelarmaturen, bei größer werdenden Abgasmenen öffnen sie.

Im Fall von Überlast können parallel zur Gasentspannungsturbine angeordnete Bypassarmaturen einen Teil des Abgases an der Gasentspannungsturbine vorbei direkt zur Atmosphäre leiten. Diese Bypassarmaturen werden zusammen so groß ausgelegt, daß sie bei ausgeschaltetem Expander auch die gesamte Abgasmenge zur Atmosphäre leiten können.

Gasentspannungsturbinen bzw. Expander gehören zur Klasse der rotierenden Maschinen und benötigen ein Notabschaltsystem. Eine der schwerwiegenden Störfälle an einer Gasentspannungsturbine ist die Überdrehzahl.

Zur Verhinderung einer Überdrehzahl müssen die Eintrittsarmaturen der Gasentspannungsturbine innerhalb von 0,6 bis 2 Sekunden schließen. Dieser Über-

drehzahlfall ist besonders bei den Maschinenkonstellationen besonders kritisch, bei denen eine Gasentspannungsturbine nur einen elektrischen Generator antreibt.

Sollte z. B. durch eine Störung im Elektroteil des Generators der Generator plötzlich vom Netz getrennt werden, steht die gesamte Leistung der Gasentspannungsturbine zur Beschleunigung des Maschinensatzes zur Verfügung.

Nur wenn der Gasdurchsatz nach 0,6 Sekunden völlig unterbrochen ist, kann sichergestellt werden, daß der Anstieg der Drehzahl auf Werte unter 10 % der Nenndrehzahl begrenzt bleibt.

Auch bei Gasentspannungsturbinen, die zusammen mit Kompressoren auf einer Welle montiert sind, kann der Überdrehzahlfall eintreten. Schnellschließende Eintrittsarmaturen sind auch hier erforderlich. Hier kann jedoch die Schließzeit auf bis zu 2 Sekunden verlängert werden.

Energierückgewinnungsanlagen sind so auszulegen, daß sie den chemischen Prozeß nicht beeinträchtigen. Dies gilt auch für eine Notabschaltung. Es sind Schutz- und Regeleinrichtungen vorzusehen, die bei einer Notabschaltung sicherstellen, daß der Prozeßdruck keinen unzulässigen Änderungen ausgesetzt ist.

Bei Gasentspannungsturbinen bedeutet dies, daß die Umgehungsarmaturen zur Gasentspannungsturbine (Bypassarmaturen) im Notabschaltfall derart schnell öffnen müssen, daß sie das gesamte Abgas durchsetzen.

Der sich über den Bypassarmaturen einstellende Differenzdruck muß genau so groß sein wie der Differenzdruck, der vor der Notabschaltung über der Expansionsturbine, unter zusätzlicher Berücksichtigung der Drosselwirkung der Eintrittsarmaturen, wirksam war.

Bekannt sind Druckregelungen von Gasexpansionsturbinen, die eine Regelung von Regeneratortrittsdrücken in FCC- (Fluid Catalytic Cracking) Anlagen beinhalten.

Bei dieser Druckregelung werden drei Armaturen im "Split-Range" verfahren. Mit steigendem Ausgangssignal des Prozeßdruckreglers wird zunächst eine Armatur am Eintritt der Entspannungsturbine geöffnet. Ist diese völlig geöffnet, beginnt eine kleine Bypassarmatur zu öffnen. Ist auch die kleine Armatur völlig geöffnet, öffnet eine große Armatur, so daß bei vollem Ausgangssignal des Prozeßdruckreglers alle drei Armaturen geöffnet sind.

Eine große (zweite) und eine kleine (erste) Bypassarmatur werden deshalb verwendet, weil mit einer kleinen Armatur die Volumenströme besser geregelt werden können als mit einer großen Armatur. Normalerweise wird nur eine kleine Teilmenge im Bypass gesteuert. Diese kleine Menge läßt sich mit einem kleinen Ventil besser regeln als mit einem großen.

Jede der drei Armaturen wird zusätzlich von Sicherheitssteuerungen angesteuert. Diese Sicherheitssteuerungen wirken unabhängig von der Regelung und fahren beim Ansprechen einer Steuerung die jeweilige

Armatur in eine vorbestimmte sichere Endlage. Für die Eintrittsarmatur der Entspannungsturbine ist dies die geschlossene Stellung, für die erste oder zweite Bypassarmatur ist es die geöffnete Stellung.

Kommt es zu einem Lastabwurf des Generators oder einer anderen Laständerung schließt die Eintrittsarmatur der Entspannungsturbine, die von der Sicherheitssteuerung gesteuert wird. Als Folge steigt der Druck im Prozeß an. Dieses erkennt der Prozeßdruckregler und vergrößert sein Ausgangssignal. Über eine "Split-Range"-Steuerung öffnen zunächst die erste (kleine) Bypassarmatur und dann die zweite (große) Bypass-Armatur so weit, bis der Prozeßdruck seinen Sollwert wieder erreicht hat.

Dieses Regelverfahren hat Jedoch den Nachteil, daß nicht unerhebliche Schwankungen des Prozeßdruckes eintreten. Insbesondere steigt der Druck unmittelbar nach dem Lastabwurf deutlich an, bevor der Prozeßdruckregler eingreifen und durch Öffnen der Bypassarmaturen den Druckanstieg abfangen kann.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Regelung der Bypassarmaturen und der Eintrittsarmatur der Gasentspannungsturbine bei plötzlichem Lastabfall so zu stabilisieren, daß auch bei nichtlinearen Kennlinien der Regelarmaturen das Gesamtsystem linearisiert wird, in dem ein linearer Zusammenhang zwischen dem Austritt des Druckreglers und dem Durchfluß durch die Gasentspannungsturbine bzw. die Bypassarmaturen hergestellt wird und daß die Schwankungen des Prozeßdrucks bei einer Störung minimiert werden.

Die Lösung der Aufgabe erfolgt in der Weise, wie es in Anspruch 1 angegeben ist. Die Unteransprüche stellen eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung dar.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß beim Einsetzen eines plötzlichen Lastabwurfes bereits bekannt ist, welche stationäre Endlage die Bypassarmaturen einnehmen müssen.

Dieses ist die Stellung, in der der Druckabfall über den Bypassarmaturen - sofern Drosselkammern hinter den Armaturen angeordnet sind, auch unter Berücksichtigung des Druckgefälles dieser Drosselkammern - nach dem Lastabwurf genau so groß ist wie das Druckgefälle über dem Expander und den Eintrittsarmaturen vor dem Lastabwurf. Auch der Druckverlust in den Rohrleitungen kann von Bedeutung sein und muß berücksichtigt werden.

Das Regelverhalten läßt sich erfindungsgemäß dadurch verbessern, daß der Stellgröße des Prozeßreglers im Augenblick des Lastabwurfs eine Störgröße aufaddiert wird. Dieser Stellgrößensprung bewirkt eine sprunghafte Veränderung der Stellungsollwerte für die Bypassarmaturen. Die Armaturen selbst fahren als Folge mit maximaler Stellgeschwindigkeiten in einen neuen Arbeitspunkt, aus dem sie anschließend durch den Prozeßdruckregler weiter verstellt werden. Die Höhe des Störgrößensprungs kann bei der Inbetriebnahme der Gesamtanlage ermittelt werden.

Durch die gesteuerte Verstellung der Bypassarmaturen läßt sich der unerwünschte Druckanstieg zwar

deutlich reduzieren, nachteilig ist jedoch, daß sich die Sollstellung nur für einen einzigen Betriebspunkt der Anlage, d. h. für eine bestimmte Abgasmenge und einen bestimmten Prozeßdruck optimieren läßt. Wird die Anlage in einem anderen Betriebspunkt gefahren, treten mehr oder weniger große Druckschwankungen ein.

Erfindungsgemäß wird daher zusätzlich eine Kennlinienschar mit Stellungswerten für alle Armaturen als Funktion des Abgasdurchflusses aufgenommen, und zwar einmal mit der Gasexpansionsturbine in Betrieb (Regelung 1) und einmal ohne Betrieb der Gasexpansionsturbine (Regelung 2).

Diese Kennlinien werden in den Prozeßregler eingezeichnet. Das Ausgangssignal des Prozeßreglers (Stellgröße) wird über Funktionsgeber den Regelarmaturen aufgeschaltet. Aufgabe dieser Funktionsgeber ist es, den Kennlinienverlauf zu linearisieren. Ein stetig ansteigendes Reglerausgangssignal soll einen stetig steigenden Durchfluß zur Folge haben. Die Funktionsgeber sind derart programmiert, daß, immer dann, wenn eine Armatur eine Endlage erreicht hat, die nächste Armatur die Verstellung übernimmt. Da sich für beide Betriebsfälle "Gasexpansionsturbine in Betrieb" und "Gasexpansionsturbine außer Betrieb" unterschiedliche Kennlinienverläufe ergeben, sind auch unterschiedliche Funktionsgeber für beide Betriebsarten erforderlich.

In einer anderen Ausführungsform können jeder Armatur zwei Funktionsgeber zugeordnet werden, die zusätzlich die Funktion der Split-Range Signalaufteilung übernehmen. In einer weiteren Ausführungsform können die Funktionsgeber für eine Betriebsart (Betrieb mit Gasexpansionsturbinen) in einem gemeinsamen Funktionsgeber für alle drei Armaturen zusammengefaßt sein und für eine zweite Betriebsart in einem zweiten Funktionsgeber. Diesen Funktionsgebern sind dann allerdings Rechenschaltungen zur Split-Range-Aufteilung der Signale nachzuschalten.

Da die Eintrittsregelarmatur der Gasexpansionsturbine nur bei Betriebsart "Gasexpansionsturbine in Betrieb" (Regelung 1) benötigt wird, genügt hier ein einziger Funktionsgeber. Für diesen Betriebsfall steuert z. B. der Funktionsgeber die Eintrittsregelarmatur mit einer Stellgröße von 0 und 57,8 % zwischen der völlig geschlossenen und der völlig geöffneten Stellung. Der Funktionsgeber der ersten (kleinen) Bypassarmatur steuert diese mit einem Stellgrößenbereich von 57,8 - 60,4 % und der Funktionsgeber der zweiten (großen) Bypassarmatur steuert diese mit einem Stellgrößenbereich von 60,4 % - 100 %.

Für den Betriebsfall "Gasexpansionsturbine außer Betrieb" (Regelung 2) öffnet die erste (kleine) Bypassarmatur mit einer Stellgröße zwischen 0 und 4,6 % und die zweite (große) Bypassarmatur zwischen 4,6 und 69 %. Stellgrößen mit mehr als 69 % sind in dieser Betriebsart nicht fahrbar, da die zugehörigen großen Durchflüsse nur möglich sind, wenn zusätzlich die Eintrittsarmatur öffnet.

Die in den Funktionsgeber der Eintrittsregelklappe der Gasexpansionsturbine und in den Bypassarmaturen einprogrammierten Kennlinien sind im übrigen von den im System herrschenden Drücken bzw. Volumenstrom des Abgases abhängig.

Erfindungsgemäß befinden sich in den Rohrleitungen jeder Bypassarmatur jeweils ein Umschaltrelais, welches bei Einsetzen einer Laständerung unverzüglich von der einen Kennlinienschar auf die andere Kennlinienschar umschaltet. Dadurch erhält Jede Bypassarmatur unmittelbar mit Einsetzen des Lastabwurfes die Stellgröße, die sie stationär einnehmen würde, wenn die Entspannungsturbine nicht in Betrieb gewesen wäre. Dieses geschieht unabhängig vom jeweiligen Abgasdurchfluß, so daß auch im Teillastbereich oder einem Überlastpunkt immer eine optimale Umschaltung gewährleistet ist.

Wenn die Gasexpansionsturbine nicht im Betrieb ist (Regelung 2), ist die Eintrittsregelarmatur über die Sicherheitssteuerung völlig geschlossen, und für die Bypassarmaturen ist der Funktionsgeber wirksam, der bei Nichteingriff der Gasexpansionsturbine, d. h. bei einem Lastabwurf des Generators, in Aktion tritt.

Die Wirkung des Prozeßdruckreglers wird durch Umschaltung von einer Kennlinie auf die andere in keiner Weise beeinträchtigt, da eine Änderung des Prozeßdruckes oder eine Änderung des Drucksollwertes vom Prozeßdruckregler unmittelbar in eine Änderung der Stellgröße umgewandelt wird und diese geänderte Stellgröße dann über den Jeweiligen Funktionsgeber unmittelbar den Armaturen aufgeschaltet wird.

Es sei angemerkt, daß auch die "Split-Range"-Aufteilung durch diese Funktionsgeber erfolgt und keine zusätzlichen Einrichtungen für diese Signalaufteilung erforderlich sind.

Die Aufnahme der Kennlinienscharen kann entweder experimentell während der Inbetriebnahme der Anlage erfolgen, sie kann jedoch auch zuvor durch Computer-simulation ermittelt werden.

Die Aufnahme dieser Kennlinienscharen erfolgt dadurch, daß der Durchfluß durch die Rohrleitungen durch den Expander bzw. durch die Bypassarmaturen kontinuierlich gesteigert wird. Die Bereiche der Prozentzahlen, die oben angegeben sind, entsprechen jeweils einem prozentualen Massenstrom. Der Massenstrom ist dann 100 %, wenn alle drei Armaturen geöffnet sind, der Expander in Betrieb ist und der Nennanlagendruck gehalten wird. Dieser Fall ist jedoch nur theoretisch durchführbar, da, wie vorher beschrieben, die volle Abgasmenge entweder über die Gasentspannungsturbine oder über die Bypassarmaturen geführt werden kann.

Der rechnerische Gesamtdurchfluß (100 %) entspricht also nahezu 200 % des tatsächlich möglichen Durchflusses. In einer Berechnung bzw. einer Computersimulation ist dieser Durchfluß jedoch durchaus fahrbar. Die Kennlinienschar wird nun derart aufgenommen, daß die Anlage stationär in verschiedene Arbeitspunkte gefahren und der zu jedem Arbeitspunkt

gehörige Massenstrom in den Rohrleitungen sowie die Stellung der Armaturen registriert wird.

Auf den Ausgang des Prozeßreglers kann vorübergehend eine zusätzliche Korrekturgröße beim Lastabwurf aufgeschaltet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren führt auch bei beliebig feinen Stützstellen für die Aufnahme der Kennlinien noch nicht zu einem optimalen Ergebnis, da bei geschlossenen oder weitgehend geschlossenen Bypassarmaturen die Rohrleitungselemente zwischen den Bypassarmaturen und den ihnen nachgeschalteten Drosselstellen weitgehend drucklos sind, weil der Durchfluß durch die Armaturen sowie durch die Drosselstellen gering ist und dadurch nur ein kleines Druckgefälle sich über den Drosselstellen einstellt. Öffnen nun die Bypassarmaturen, stellt sich stationär aufgrund des größeren Durchflusses ein höherer Druckverlust über den Drosselstellen ein, was dazu führt, daß auch der Druck zwischen den Armaturen und den Drosselstellen stationär deutlich höher liegt als zuvor.

Da diese Rohrleitungsabschnitte aber ein Gasvolumen darstellen und zum Erhöhen des Druckes ein zusätzlicher Massenstrom erforderlich ist, muß vorübergehend ein größerer Massenstrom durch die Armaturen fließen als durch die Drosselstelle. Dieses wird gemäß Anspruch 1 nicht berücksichtigt. Das hat zur Folge, daß bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Prozeßdruck vorübergehend kurzzeitig unter den stationären Wert fällt, da ja transient ein größerer Durchfluß aus dem Prozeß entnommen wird als im stationären Zustand.

Dieser Nachteil kann dadurch umgangen werden, daß mit jedem Lastabwurf dem Reglerausgang eine zusätzliche Störgröße, allerdings mit negativem Vorzeichen, aufaddiert wird. Diese Störgröße bewirkt, daß die Bypassarmaturen zunächst nicht ganz bis zur stationären Stellung fahren, sondern zunächst vorübergehend noch etwas weiter angedrosselt verharren, um auch transient im Bypass das gleiche Druckgefälle zu erzeugen, wie es sich zuvor über der Gasentspannungsturbine eingestellt hatte. Die zusätzliche Korrekturgröße kann rechnerisch ermittelt werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Gesamtanlage in einem Computermodell dynamisch zu simulieren und die Differenz zwischen dem Durchfluß durch die Drosselstellen und dem Durchfluß durch die Armaturen während eines simulierten Lastabwurfes zu erfassen, zu notieren/zuspeichern und dadurch festzuhalten.

Die Differenz dieser beiden Massenströme entspricht der erforderlichen Korrekturgröße.

Die Massenstromdifferenz kann z. B. über der Zeit im Abstand von jeweils 0,1 Sekunde aufgetragen sein und im Regler als Funktionsverlauf gespeichert sein. Sollten in der Anlage Durchflußmeßstellen an den entsprechenden Meßorten vorhanden sein, kann die Korrekturgröße auch meßtechnisch bei einem Lastabwurf ermittelt werden.

Bei einer plötzlichen Laständerung der Expansionsturbine, insbesondere bei einer Abschaltung, schlie-

Ben die Eintrittsarmaturen. Die Bypassarmaturen öffnen erfindungsgemäß so weit, daß sie die gesamte Rauchgasmenge durchsetzen können.

Soll das System nun in den ursprünglichen Zustand zurückgesetzt werden, schalten die Umschaltrelais der Bypassarmaturen wieder auf die Funktionsgeber für Betrieb mit Gasexpander zurück. Aufgrund des einprogrammierten Funktionsverlaufs steuern die Funktionsgeber für Betrieb ohne Gasexpander aber größere Signale aus als die Funktionsgeber für Betrieb mit Gasexpander. Die Folge ist ein Sprung der Bypassarmaturen in Schließrichtung. Zur Vermeidung dieses Sprunges wird die Stellgröße des Prozeßreglers im Umschalt Augenblick gesteuert um genau einen solchen Betrag geändert, daß der Ausgang der Funktionsgeber für Betrieb mit Gasexpander nach dem Umschalten entspricht. Dadurch wird sichergestellt, daß die Stellung der Bypassarmaturen durch die Umschaltung nicht beeinflußt wird. Die Umschaltung erfolgt stoßfrei.

Nach dieser Umschaltung ist der Gasexpander bzw. die Gasexpansionsturbine wieder anfahrbereit. Es wird zunächst die Eintrittsregelarmatur durch einen gesteuerten Eingriff völlig geöffnet. Anschließend wird durch langsames Öffnen der Schnellschlußarmatur die Gasexpansionsturbine angefahren. Unzulässige Drehzahländerungen werden durch Eingriff des Drehzahlreglers vermeiden. Die Öffnung der Schnellschlußarmatur beeinflußt den Prozeßgasdruck geringfügig, dieser Einfluß wird durch den Prozeßregler kompensiert, der die Bypassarmaturen um den erforderlichen Betrag schließt.

Der Anfahrvorgang ist beendet, wenn der Generator synchronisiert und die Eintritts- und Schnellschlußarmaturen völlig geöffnet sind.

Auch während des Anfahrvorgangs können größere Laständerungen oder sogar Abschaltungen der Gasexpansionsturbine erfolgen. Es ist wünschenswert, auch bei dieser Betriebsweise die Rückwirkungen auf den Prozeß zu minimieren.

Dieses kann dadurch erfolgen, daß die Eingangsgrößen zu den Funktionsgebern für Betrieb ohne Gasexpander in Abhängigkeit von der Stellung der Schnellschlußarmatur bzw. in Abhängigkeit von der Sollstellung dieser Armatur (Ausgang des Drehzahlreglers) abgeschwächt werden. Ist die Schnellschlußarmatur völlig geöffnet, werden die Eingangssignale nicht abgeschwächt, ist die Schnellschlußarmatur teilweise geschlossen, werden die Eingangssignale derart abgeschwächt, daß die Umschaltrelais der ersten und zweiten Bypassarmatur vor und nach der Umschaltung ein gleiches Ausgangssignal aussteuern. Nimmt die Eintrittsarmatur eine Zwischenstellung ein, erfolgt eine teilweise Abschwächung.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird unmittelbar mit dem Lastabwurf (Regelung 2) nicht mehr der Prozeßdruck, sondern der Druck unmittelbar vor den Bypassarmaturen bzw. der Gasentspannungsturbine konstant geregelt, da der Ausgangspunkt der Störung die Expander-Eintrittsarmaturen sind. Die Pro-

zeßstörung setzt sich somit von dieser Stelle aus zum Prozeß hin fort. Wird nun die Prozeßstörung eher erfaßt, noch bevor sie im Prozeß selbst merklich wirksam wird, kann das Regelverhalten deutlich verbessert werden. Dies erfolgt dadurch, daß dem Regler nicht mehr die Differenz zwischen Prozeßdrucksollwert und tatsächlichem Prozeßdruck aufgeschaltet wird, sondern die Differenz zwischen dem Druck im Verzweigungspunkt der Rohrleitungen und dem Sollwert für diesen Druck. Als Sollwert für diesen Druck wird der Druck gewählt, der unmittelbar vor Lastabwurf an dieser Druckentnahmestelle herrscht.

Die Rückschaltung auf die normale Prozeßdruckregelung kann nach verschiedenen Kriterien erfolgen die nachfolgend beschrieben sind.

Das Rückschalten von "Regelung des Druckes vor der Gasentspannungsturbine" auf Prozeßdruckregelung kann zeitabhängig derart erfolgen, daß nach einer voreingestellten Zeit ab Lastabwurf wieder auf Prozeßregelung umgeschaltet wird.

Das Rückschalten von "Regelung des Druckes im Eintritt der Gasentspannungsturbine" auf Prozeßregelung erfolgt abhängig von einer voreingestellten Zeit und zusätzlich davon, daß die aktuelle Stellgröße der im Eingriff befindlichen Bypassarmatur den Mittelwert der Stellgröße über einem vordefinierten zurückliegenden Zeitraum entspricht.

Die Schwankungen des Prozeßdruckes sind dann minimal, wenn die Regler, und zwar sowohl der Regler für den Eintrittsdruck in die Gasentspannungsturbine als auch der Regler für den Prozeßdruck, mit möglichst großer Verstärkung betrieben werden.

Dieses kann jedoch dazu führen, daß die Armaturen nicht sofort die stationäre Endlage einnehmen, sondern das ein "gedämpfter Einschwingvorgang" einsetzt. Dieses bedeutet, daß die Stellgröße zunächst über den stationären Wert überschwingt, anschließend durch einen Reglereingriff unter den stationären Wert unterschwingt, um anschließend wieder über den stationären Wert anzusteigen usw.

Erfolgt die Umschaltung der Eintrittsdruckregelung der Expansionsturbinen auf Prozeßregelung nur zeitgesteuert, besteht die Gefahr, daß eine Umschaltung genau dann erfolgt, wenn die Stellgröße das obere oder untere Extrem erreicht hat oder in der Nähe dieses Extrems liegt. Dieses hat zur Folge, daß eine relativ große Abweichung nach dem Zurückschalten auf Prozeßdruckregelung durch den Prozeßdruckregler ausgeglichen werden muß. Dieses bedingt aber unnötig große Änderungen des Prozeßdruckes selbst, so daß sie nach Möglichkeit zu vermeiden sind. Eine Abhilfe schafft hier das zuvor beschriebene Verfahren, nämlich erst dann auf Prozeßdruckregelung zurückzuschalten, wenn die aktuelle Stellgröße genau den Mittelwert über einen zurückliegenden Zeitraum entspricht. Damit ist sichergestellt, daß die Stellung der Armaturen im Umschalt Augenblick sehr viel näher am neuen stationären Endwert liegen als sie sonst möglicherweise liegen.

Das gleiche Ziel wird auch erreicht, wenn die

Umschaltung in dem Punkt erfolgt, in dem die Stellgröße der größten Änderung unterworfen ist.

Die Umschaltung von einem Regler auf den anderen kann auf verschiedene Arten erfolgen. Eine Möglichkeit besteht darin, zwei getrennte Regler, einen Differenzdruck- oder Prozeßregler und einen Druckregler vorzusehen. Jeder dieser beiden Regler steuert ein Ausgangssignal aus, wobei das Umschaltrelais der ersten Bypassarmatur nur eines dieser beiden Signale auf die nachfolgenden Funktionsgeber schaltet.

Der Ausgang des anderen Reglers bleibt wirkungslos.

Bei einer solchen Anordnung besteht die Gefahr, daß der Ausgang des inaktiven Reglers ein anderes Signal annimmt als der aktive Regler. Bei einer Umschaltung würde ein Sprung entstehen. Um dies zu vermeiden, wird der inaktive Regler auf den Ausgang des aktiven Reglers nachgeführt, d. h. der Ausgang des inaktiven Reglers wird zwangsweise stets auf den Ausgangswert des aktiven Reglers gesetzt. Hierdurch werden Sprünge beim Umschalten vermieden.

Eine andere Möglichkeit zur Vermeidung von Sprüngen beim Umschalten besteht darin, nur einen einzigen gemeinsamen Regler zu verwenden. Es werden zwei Regeldifferenzen gebildet, zum einen die Differenz aus Differenzdrucksollwert und Differenzdruckistwert und zum anderen die Differenz aus Soll- und Istwert des Druckes vor den Bypassarmaturen. Beide Regeldifferenzen werden einem Relais aufgeschaltet, welches je nach gewünschter Betriebsart die eine oder die andere Regeldifferenz dem gemeinsamen Regler aufgeschaltet und die jeweils gewünschte Prozeßgröße konstant hält.

Die Änderungen des Prozeßdruckes beim Lastabwurf lassen sich weiterhin dadurch reduzieren, daß nach einem Lastabwurf die Proportionalverstärkung des aktiven Prozeßreglers erhöht wird. Dieses hat zur Folge, daß der Regelkreis zwar möglicherweise instabil wird und damit die oben beschriebenen Schwankungen der Stellgröße um den neuen stationären Punkt eintreten, andererseits hat dies jedoch den Vorteil, daß die Stellgrößen wesentlich schneller in die Nähe des neuen stationären Endwertes gelangen.

Eine Rückschaltung auf die normale Proportionalverstärkung kann in gleicher Weise erfolgen wie es oben beschrieben ist.

Eine variable Verstärkung kann sowohl für die Prozeßdruckregelung als auch für die Regelung des Eintrittsdruckes der Expansionsturbine gewählt werden.

Die oben beschriebenen Regelverfahren sind auch dann anwendbar, wenn zwischen zwei beliebigen Betriebszuständen von Regelung 1 auf Regelung 2 umgeschaltet wird. Der Fall "Gasexpansionsturbine außer Betrieb" ist somit nur ein Sonderfall.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand eines Regelschemas einer katalytischen Crackanlage mit einer im Abgasstrom angeordneten Gasexpansionsturbine mit Generator erläutert.

In einer katalytischen Crackanlage wird Katalysat kontinuierlich zwischen einem Reaktor (1) und einem

Regenerator (2) umgewälzt. Im Regenerator (2) wird unter Zufuhr von Verbrennungsluft abgelagerter Kohlenstoff vom Katalysator abgebrannt. Reaktivierter Katalysator aus dem Regenerator (2) wird mit Beschickungsgut vermischt und zum Reaktor (1) zurückgeführt.

Das heiße Rauchgas in der Rauchgasleitung A (3) kann nach Verlassen des Regenerators (2) und Durchlauf durch einen Staubabscheider (31) in einem Doppelschieberventil (13) und einer Drosselkammer (14) entspannt und über einen Abhitzekegel (15) zum Hauptkamin geleitet werden. Diese Betriebsart ist nach dem Einbau einer Gasentspannungsturbine (7) auch weiterhin möglich. Das Doppelschieberventil (13) wird über einen Druckregler (32) gesteuert.

Nach dem Einbau der Gasentspannungsturbine (7) kann das heiße Rauchgas über die Rauchgasleitung B (4) statt durch das Doppelschieberventil (13) und die Drosselkammer (14) der Rauchgasleitung A (3) geleitet werden. Die dem Rauchgas entzogene Leistung wird in einem Generator (7.1) in elektrische Nutzleistung umgewandelt. Das Abgas der Gasentspannungsturbine (7) wird ebenfalls dem Abhitzekegel (15) zugeführt und durch den Hauptkamin in die Atmosphäre geleitet.

Im Normalbetrieb wird die Gasentspannungsturbine (7) vom Rauchgas durchströmt und elektrische Leistung erzeugt. Bei Lastabwurf werden Teile des Rauchgases durch Drosselarmaturen (11, 12) im Bypass über den Abwärmekessel (15) zum Kamin geleitet.

Hierzu sind in der Rauchgasleitung B (4) vor der Gasentspannungsturbine (7) zwei Regel- (8) und Schnellschlußarmaturen (9) hintereinander sowie im Bypass C (5) eine erste Bypassarmatur (11) und eine zweite Bypassarmatur (12) angeordnet.

Durch die Zuschaltung einer Gasentspannungsturbine (7) ist auch eine Erweiterung des Regelsystems erforderlich, da der Hauptrauchgasstrom (ca. 95 %) durch die Gasentspannungsturbine (7) statt durch das Doppelschieberventil (13) geleitet wird. Beim Start oder Abschalten der Gasentspannungsturbine (7) soll der Differenzdruck zwischen Reaktor (1) und Regenerator (2) nicht unzulässig gestört werden.

Ferner sind zusätzlich zu den bereits genannten vier Regelarmaturen (8, 9, 11, 12) weitere Komponenten zum vorhandenen Regelsystem hinzugefügt:

- Ein Prozeßregler (17) und ein Druckregler (18), die in Split-range auf die Eintrittsregelklappe (8) und die beiden Bypassarmaturen (11) und (12) wirken.
- Einen Drehzahlregler (10) zur Synchronisierung des Expander/Generatorsystems (7, 7.1) mit dem elektrischen Netz. Der gleiche Regler (10) wird benutzt, um die Schnellschlußklappe (9) in die völlig geöffnete bzw. geschlossene Stellung zu fahren.

Alle Armaturen (8, 9, 11, 12) sind mit Positionsgewern (19, 20, 21, 22) zur exakten Positionierung sowie mit Stellantrieben (20.2, 21.2) zur Schnellöffnung der

Bypassarmaturen (11) und (12) sowie mit Stellantrieben (19.2, 22.2) zum Schnellschluß der Eintrittsarmaturen (8) und (9) ausgerüstet.

Die Armatur (9) wird von Drehzahlregler (10) beaufschlagt und ist nur beim Anfahren der Expansionsturbine (7) bis zum Synchronisieren des Generators (7.1) im Eingriff. Danach wird die Armatur (9) in die ganz geöffnete Stellung gefahren.

Im Normalbetrieb bei Regelung 1 ist der Prozeßregler (17) im Eingriff. Die Regelarmatur (9) und die Eintrittsschnellschlußarmatur (8) sind vollständig geöffnet. Die zweite (große) Bypassarmatur (12) ist vollständig geschlossen und die erste (kleine) Bypassarmatur (11) regelt den Differenzdruck. Ca. 95 % der Rauchgasmenge durchströmen den Expander (7), der in seinem Nennbetriebspunkt arbeitet, und ca. 5 % die erste Bypassarmatur (11). Schwankungen im Rauchgas (nicht mehr als 3 % des Nenndurchflusses) werden vom Prozeßregler (17) erfaßt und durch Verstellen der ersten Bypassarmatur (11) geregelt. Die zweite Bypassarmatur (12) ist während des Normalbetriebs vollständig geschlossen, öffnet aber bei plötzlichem starken Rauchgasanfall zusätzlich. Ebenso schließen bei kleinem Rauchgasangebot die erste Bypassarmatur (11) und die Eintrittsregelarmatur (8) teilweise.

Die Leckgasmenge der ersten Bypassarmatur (11) reicht aus, um die Heißgasleitungen (5, 6) warmzuhalten. Erforderlichenfalls kann durch Einstellung der Minimalöffnung am Positionsregler (20.1 oder 21.1) eine Anpassung erfolgen.

Die in den Funktionsgebern (23 - 27) gespeicherten Kennlinien der Stellungswerte von Eingangs- und Ausgangsgrößen für die Eintrittsregelarmatur (8), die erste Bypassarmatur (11) und die zweite Bypassarmatur (12) werden über Umschalter (28, 29) den Positionsreglern (20.1) und (21.1) zugeführt. Der Positionsregler (20.1) regelt die Stellung der ersten Bypassarmatur (11), der Positionsregler (21.1) regelt die Stellung der zweiten Bypassarmatur (12).

Bei Betrieb mit Gasexpansionsturbine (7) (Expander) wirkt der Funktionsgeber (23) direkt auf die Stellarmaturen (19 - 19.2) der Eintrittsregelarmatur (8) und die Funktionsgeber (24) und (26) auf die Stellarmaturen (20 - 20.2) des ersten Bypasses (11) sowie auf die Stellarmaturen (21 - 21.2) des zweiten Bypasses (12).

Bei Regelung 2 (Betrieb ohne Gasexpansionsturbine) wirken die Funktionsgeber (25) und (27) auf die Stellarmaturen (20 - 20.2) des ersten Bypasses (11) sowie auf die Stellarmaturen (21 - 21.2) des zweiten Bypasses (12). Die Stellantriebe (19 - 19.2) der Eintrittsarmatur (8) werden nicht angesprochen, die Eintrittsregelarmaturen (8) und (9) bleiben geschlossen, wobei die Stellantriebe (22 - 22.2) der Schnellschlußarmatur (9) über den Drehzahlregler (10) der Gasentspannungsturbine (7) angesprochen werden.

Zwischen dem Prozeßregler (17) und den Funktionsgebern (23 - 27) ist ein Umschaltregler (30) zwischengeschaltet, der bei Laständerungen oder anderen Unregelmäßigkeiten während der Regelung des Druk-

kes die Signale des Druckreglers (18) auf die Funktionsgeber (23 - 27) überträgt.

Vor dem Prozeßregler (17) und dem Druckregler (32) des Doppelschieberventils (13) ist jeweils ein Meßumformer (33) vorgesehen, die den (Differenz-)druck ΔP in ein elektrisches Signal umformen.

Bezugsziffernliste:

1	Reaktor
2	Regenerator
3	Rauchgasleitung A
4	Rauchgasleitung B
5	Bypassleitung C
6	Bypassleitung D
7	Gasexpansionsturbine/Expander
7.1	Generator
8	Eintrittsregelarmatur
9	Schnellschlußarmatur
10	Drehzahlregler
11	Erste Bypassarmatur
12	Zweite Bypassarmatur
13	Doppelschieberventil
14	Drosselkammer in A
15	Abhitzeessel
16	Drosselkammer in C
17	Differenzdruckregler/Prozeßregler
18	Druckregler im Eintritt von 7
19	Positionsgeber von 8
19.1	Positionsregler
19.2	Stellantrieb
20	Positionsgeber von 11
20.1	Positionsregler
20.2	Stellantrieb
21	Positionsgeber von 12
21.1	Positionsregler
21.2	Stellantrieb
22	Positionsgeber von 9
22.1	Positionsregler
22.2	Stellantrieb
23	Funktionsgeber Eintrittsregelarmatur (8)
24	Funktionsgeber erster Bypassarmatur für Betrieb mit Gasexpansionsturbine
25	Funktionsgeber erste Bypassarmatur für Betrieb ohne Gasexpansionsturbine
26	Funktionsgeber zweite Bypassarmatur für Betrieb mit Gasexpansionsturbine
27	Funktionsgeber für Betrieb ohne Gasexpansionsturbine
28	Umschaltrelais erste Bypassarmatur
29	Umschaltrelais zweite Bypassarmatur
30	Umschaltregler
31	Staubabscheider
32	Druckregler von 13
33	Meßumformer

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln von Gasdrücken eines im

Verbund mit einem Reaktor arbeitenden Regenerators bei Einsatz von mindestens einer Gasentspannungsturbine in der Gasleitung mit einem Generator oder einer sonstigen Last, wobei ein Prozeßregler die Eintrittsarmaturen einer Gasentspannungsturbine und/oder die Bypassarmaturen öffnet oder die Bypassarmaturen drosselt, dadurch gekennzeichnet,

- daß Kennlinien mit den Stellgrößen von Eintrittsregelarmaturen (8, 9) einer Gasexpansionsturbine (7), einer ersten Bypassarmatur (11), einer zweiten Bypassarmatur (12) bzw. weiteren Bypassarmaturen als Funktion des Gasdurchflusses aufgenommen werden, und zwar einmal mit Betrieb der Gasexpansionsturbine (7) (Regelung 1) und einmal ohne Betrieb der Gasexpansionsturbine (7) (Regelung 2),
 - daß einem Prozeßregler (17) mehrere Funktionsgeber (23), (24, 25) bzw. (26, 27) nachgeschaltet sind, die die Stellgrößen für die nachgeschalteten Armaturen (8) sowie (11, 12) vorgeben und in denen jeweils ein erster Funktionsverlauf der Funktionsgeber (23, 24, 26) bei Betrieb der Gasentspannungsturbine (7) und ein zweiter Funktionsverlauf der Funktionsgeber (25, 27) für einen Betrieb ohne Gasentspannungsturbine (7) gespeichert sind.
 - daß die Ausgangsgrößen dieser Funktionsgeber (23), (24, 26) und (25, 27) die Sollwerte für die Positionsgeber (19), (20) und (21) der jeweiligen Armaturen (8, 11, 12) bilden und
 - daß bei einer plötzlichen Laständerung bzw. Abschaltung der Gasexpansionsturbine (7) über Umschalter (28, 29) von Regelung 1 auf Regelung 2 umgeschaltet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß beim Zurückschalten vom Betrieb ohne Gasexpansionsmaschine (7) (Regelung 2) auf Betrieb mit Gasexpansionsturbine (7) (Regelung 1) bei geschlossenen Eintrittsarmaturen (8, 9) der Ausgang des Reglers (17) einen solchen Stellgrößen-sprung ausführt, daß die Stellung der Bypassarmaturen (11, 12) unverändert bleibt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Umschaltung vom Betrieb mit Gasexpansionsturbine (7) (Regelung 1) auf Betrieb ohne Gasexpansionsturbine (7) (Regelung 2) bei teilweise geschlossener Eintrittsarmatur (8) oder (9) vom Eingang der Funktionsgeber (25) und (27) eine Korrekturgröße subtrahiert wird, welche eine Funktion der Stellung der angedrosselten Eintrittsarmatur (8) oder der Stellgröße der angedrosselten Eintrittsarmatur (9) ist.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß dem Prozeßregler (17) nach einer Laständerung der Gasexpansionsturbine (7) vorübergehend eine Korrekturgröße aufgeschaltet wird, die aus der Differenz der Massenströme zwischen Eintritt der Bypassleitung (5) und Austritt der Bypassleitung (5) gebildet wird.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß unmittelbar mit der Laständerung der Gasexpansionsturbine (7) nicht mehr der Prozeßdruck, sondern der Druck unmittelbar vor den Bypassarmaturen (11, 12) der Gasexpansionsturbine (7) oder unmittelbar vor der Eintrittsarmatur (9) durch den Druckregler (18) geregelt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei getrennte Regler (17, 18) für die Regelung des Prozeßdruckes und des Druckes unmittelbar vor den Bypassarmaturen (11, 12) der Gasexpansionsturbine (7) verwendet werden, und daß der jeweils nicht im Eingriff befindliche Regler (17) oder (18) auf den Ausgang des aktiven Reglers (17) oder (18) nachgeführt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß nur ein gemeinsamer Regler (17) für die Regelung des Prozeßdruckes und des Druckes unmittelbar vor den Bypassarmaturen (11, 12) verwendet wird und daß dieser Regler (17) mit einer umschaltbaren Regeldifferenz beaufschlagt wird.
8. Verfahren nach den Ansprüchen 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Rückschalten der Regelung des Druckes vor den Bypassarmaturen (11, 12) oder vor der Eintrittsarmatur (8) der Gasentspannungsturbine (7) auf den Prozeßregler (17) zeitabhängig derart erfolgt, daß nach einer voreingestellten Zeit ab Laständerung der Gasexpansionsturbine (7) wieder auf Prozeßdruckregelung umgeschaltet wird.
9. Verfahren nach den Ansprüchen 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Rückschalten der Regelung des Druckes vor den Bypassarmaturen (11, 12) oder vor der Eintrittsarmatur (8) der Gasentspannungsturbine (7) auf den Prozeßregler (17) abhängig von einer voreingestellten Zeit erfolgt und zusätzlich davon, daß die aktuelle Stellgröße der im Eingriff befindlichen ersten Bypassarmatur (11) oder zweiten Bypassarmatur (12) den Mittelwert der Stellgröße über einem vordefinierten zurückliegenden Zeitraum entspricht.

10. Verfahren nach den Ansprüchen 5 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Rückschalten der Regelung des Druckes
vor den Bypassarmaturen (11, 12) oder vor der Ein-
trittsarmatur (8) der Gasentspannungsturbine (7) 5
auf den Prozeßregler (17) in dem Punkt erfolgt, in
dem die Stellgröße zu der im Eingriff befindlichen
ersten Bypassarmatur (11) oder zweiten Bypassar-
matur (12) der größten Änderung unterworfen ist. 10
11. Verfahren nach den Ansprüchen 5 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Messung des Druckes vor den Bypassar-
maturen (11, 12) durch den Druckregler (18) entwe-
der im Knotenpunkt der Rohrleitung A (3) und der 15
Rohrleitung B (4) oder in der Abzweigrohrleitung B
(4) zur Gasexpansionsturbine (7) oder in C (5) der
Rohrleitung zu den Bypassarmaturen (11, 12)
erfolgt. 20
12. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß nach einer Laständerung der Gasexpansions-
turbine (7) die Proportionalverstärkung des aktiven
Prozeßreglers (17) oder des aktiven Druckreglers 25
(18) erhöht wird. 25
13. Verfahren zum Regeln von Gasdrücken nach den
Ansprüchen 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, 30
daß der Stellgröße des Prozeßreglers (17) und des
Druckreglers (18) im Augenblick der Laständerung
eine Störgröße bzw. Störgrößensprung aufaddiert
wird, die an die Funktionsgeber (23 - 27) der Ein-
trittsarmatur (8) und der Bypassarmaturen (11, 12) 35
übertragen wird. 35
14. Verfahren zum Regeln von Gasdrücken nach
Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, 40
- daß die Höhe des Störgrößensprunges bei
einer plötzlichen Laständerung oder einem
Lastabwurf der Gasturbine (7), der an die Posi-
tionsgeber (19, 20, 21, 22) übertragen wird, 45
während der Inbetriebnahme der Gasturbine
(7), der Eintrittsregelarmatur (8), der Schnell-
schlußarmatur (9) und der Bypassarmaturen
(11, 12) ermittelt wird. 50

55

